

平成 22 年 6 月 30 日現在

研究種目：若手研究(B)
研究期間：2007～2009
課題番号：19740300
研究課題名(和文) アンサンブルカルマンフィルタを用いた大気微量成分同化システムの構築
研究課題名(英文) Development of a chemical data assimilation system using ensemble Kalman filter
研究代表者
宮崎 和幸 (MIYAZAKI KAZUYUKI)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・ポストドクトラル研究員
研究者番号：30435838

研究成果の概要(和文)：

本研究は高度な同化手法であるアンサンブルカルマンフィルタ(EnKF)を用いて大気微量成分の高精度なデータ同化システムを構築することを目的とする。この目的のために、大気の観測値を大気大循環モデルに同化するシステムおよび大気微量成分の観測値を化学輸送モデルに同化するシステムを構築した。理想化実験および実際の観測データを利用したデータ同化実験から本システムの性能を検証し、大気微量成分の再解析を実施するための実用的なフレームワークが得られた。

研究成果の概要(英文)：

This research aims to develop an advanced data assimilation system using an ensemble Kalman filter, in order to reproduce the distribution of chemical constituents in the atmosphere. In the data assimilation system, meteorological observations and chemical observations were assimilated into a general circulation model and a chemical transport model, respectively. The performance of the data assimilation system was evaluated with ideal and real observations, and a sufficient framework for chemical constituent reanalysis was obtained from this research.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	700,000	210,000	910,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
総計	2,600,000	390,000	2,990,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：

オゾン, データ同化, 二酸化炭素, 化学輸送モデル, 大気微量成分

1. 研究開始当初の背景

近年、大気微量成分の観測データが膨大に蓄積されつつある。それらデータを用いた解

析から、主に人為起源物質の排出に起因した大気質変動とその気候への影響が指摘されている。特に、オゾンや二酸化炭素など温室効果気体の挙動を明らかにすることは科学

的・社会的に重要な問題である。しかしながら、それらの観測データの量および質は依然として十分ではなく、化学・放射・力学を介した大気質変動の理解の支障となっている。詳細な過程を含む化学輸送モデルも開発されているが、再現性には依然として改善の余地がある。このような現状の中、データ同化技術を用いて観測データと数値モデルを統合し大気微量成分の時空間分布を再現するシステムの開発が望まれている。

研究代表者は、大気微量成分の再解析システム構築に向けた準備段階として、気象研究所と共同で3次元化学輸送モデルと大気大循環モデルを用いた再解析システムの構築に取り組んできた。このシステムでは、簡便なデータ同化手法により大気大循環モデルに客観解析データを同化する。また、オゾン全量の衛星観測データを簡便な手法により化学輸送モデルに同化しオゾン分布の再現を試みた。しかしながら、世界の多くの再解析システムと同様に、対流圏や下部成層圏での大気微量成分の再現精度には依然として問題がある。高度なデータ同化技術を気象場および大気微量成分の解析に導入し、高精度な大気微量成分の再解析システムを構築することが望まれる。

2. 研究の目的

(1) **EnKF** と従来のナッジング手法による大気解析場を比較し、大気場同化手法の違いによる微量成分の輸送計算・化学反応計算への影響を明らかにする。**EnKF** では流れに依存した誤差情報を反映することで、大気微量成分の輸送計算・化学反応計算を改善し、全球3次元化学輸送モデルの誤差を軽減することが期待できる。**EnKF** を用いて完全モデル実験による解析精度を検証し、高精度な大気微量成分の再解析を実施するための最適な大気場解析手法を確立する。

(2) **EnKF** を全球3次元化学輸送モデルに適用し、大気微量成分のデータ同化システムを構築する。構築したシステムで完全モデルを仮定したオゾンの同化実験を実施し、大気微量成分のデータ同化に **EnKF** を使用する有効性を検証する。さらに、観測システムシミュレーション実験 (**OSSE**) を実施し、オゾンと関連化学種の解析精度に対する観測ネットワークの影響を明らかにする。実観測データを用いたオゾンの同化実験にも取り組み、解析精度を検証する。バイアス補正の導入などを通してシステムの高精度化を図り、実用的な大気微量成分の再解析システムを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 大気場同化システムの構築および最適化

EnKF を用いて大気の観測値を大気大循環モデルに同化するシステムを構築する。このシステムで再現した日々の大気解析場は全球3次元化学輸送モデルに供給し大気微量成分の輸送・化学計算に利用する。解析誤差共分散行列の作成には平方根フィルタを適用し予報のアンサンブル摂動から解析のアンサンブル摂動を作成する。モデル誤差がないと仮定した完全モデルによる実験を実施し基本的な動作確認を行なうと共に、システムの最適化に取り組む。また、誤差共分散行列の局所化を導入し計算コストを軽減する。本システムの有効性を検証するため、**EnKF** および従来のナッジング法による大気解析場を比較し、大気場同化手法の違いによる大気組成の全球分布と季節変動の再現性への影響を明らかにする。

(2) 大気微量成分同化システムの構築：完全モデル実験

EnKF を対流圏の詳細な化学反応を含む全球化学輸送モデルに適用し、大気微量成分の同化システムを構築する。構築したシステムは(1)で最適化を済ませた大気場同化システムと結合する。完全モデルによるオゾンのデータ同化実験を実施し、オゾンの解析精度および関連化学種へ影響を調査する。

現実の地上観測網および航空機観測網などに対応した観測システム実験を実施し、時空間に均一な衛星観測データだけではなく、局所的に時空間分解能が密な観測データが解析精度に及ぼす影響を調査し、同化システムで解析精度を向上するための大気質監視網の効果的な配置について考察する。

(3) 大気微量成分同化システムの構築：実観測データを用いた実験

大気微量成分の同化システムに実観測データを適用し、対流圏および下部成層圏におけるオゾンと関連化学種の解析精度を検証する。実際のモデルには少なからずバイアスが存在し誤差分布にも偏りがある可能性が高く、これらは**EnKF** の最適性を悪化させる。解析精度に問題がある場合には、バイアス補正を適用して解析精度の向上を図り、大気質変動研究のための実用的な大気微量成分同化システムを構築する。

4. 研究成果

(1) 輸送計算改善のための大気場データ同化

大気場の解析精度は輸送・化学反応計算を介して大気微量成分の再現性に影響する。従来の多くの微量成分のデータ同化システムでは、客観解析データにより化学輸送モデルを直接駆動している。このシステムでは、客観解析の時空間分解能の粗さとノイズな鉛直流が過度な鉛直分散を招くなど輸送計算精度に問題を抱えていた。ナudging手法により客観解析を大気大循環モデルに同化したシステムでは輸送計算精度は改善するが、モデル誤差に起因する外力が大気循環場を劣化させる。同化変数・緩和時間を最適化することでナudging手法でも大気場の解析をある程度向上することは可能だが、モデルの物理的整合性を完全に保障する高精度な解析場を作成するには至らない。本研究では、大気微量成分の再解析に向けて EnKF を化学場のみならず大気場にも適用し、その効果を調査した。

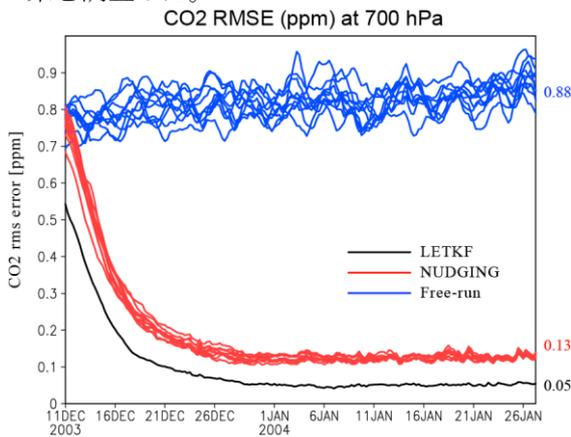


図1：大気トレーサー（二酸化炭素）濃度の解析誤差（平均二乗誤差）の時間発展。大気場のデータ同化を行わない実験結果を青線で、ナudgingによる同化大気場を用いた実験結果を赤線で、EnKFによる同化大気場を用いた実験結果を黒線で示す。

EnKF を適用した大気大循環モデルを用いて力学的整合性のある細かな変動を含む日々の大気場を再現することで、大気循環場および輸送計算を改善し大気組成分布の再現性が向上することを明らかにした(図1)。大気解析場の改善を通して3次元化学輸送モデルの誤差を軽減することは微量成分再解析の高精度化には欠かせないため、本研究成果は高精度な微量成分同化システムのための効果的な枠組みを提案するものである。

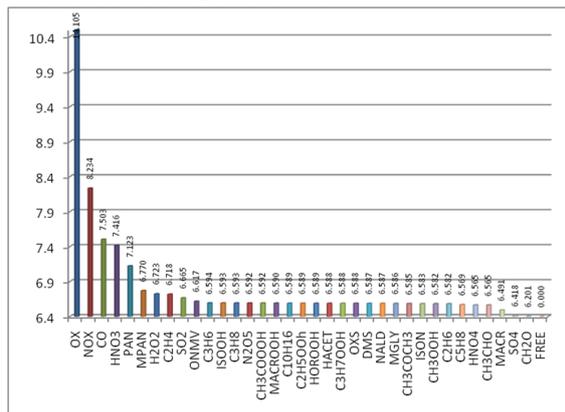
(2) 大気組成のデータ同化

完全モデルと実観測データを用いた EnKF によるオゾンなど大気汚染物質のデータ同化実験を実施し、解析上の問題点とシステムの有効性を調査した。

対流圏および下部成層圏におけるオゾンと関連化学種の解析精度の検証を行ったところ、解析結果に対してモデルバイアスの影響が深刻であったため、バイアス補正技術を導入しその効果を検証した。バイアス補正技術を導入することでモデルバイアスを動的に推定し解析精度を改善できることを確認した。更に、化学システム及び化学輸送モデルのパラメータ推定に対する共分散膨張および局所化手法に関する感度実験を行い、安定して良好に動作する同化システムを構築した。一方、オゾン場自身の検証に加えて、化学過程を介して連動する非同化・関連化学種への影響を検証した。これらの取り組みにより、大気質変動研究のための実用的な大気微量成分同化システムの枠組みを構築した。

更に、大気微量成分のデータ同化システムを用いた OSSE を実施し、大気汚染（主に下部対流圏オゾンを対象）の実況監視に向けた効果的な観測網に関する考察を行い、以下の事項を明らかにした。

① 東アジア域から日本における春季の地上オゾンの挙動を知るためには、オゾン自身の他に、NOX, HNO3, CO, PAN の観測情報を得ることが重要である(図2)。東アジアの春季には、ユーラシア大陸全体と比較して、CO の観測情報の重要性がより高くなるといった地域的な特性も見られた。



果的に引き出せる可能性がある。

③ 自由対流圏では、オゾン自身を高精度に観測することが極めて重要であった。オゾン観測データの鉛直分解能が4km以上になると、自由対流圏でのオゾン分布推定が大きく劣化する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① Miyazaki, K., S. Watanabe, Y. Kawatani, Y. Tomikawa, M. Takahashi, and K. Sato, Transport and mixing in the extratropical tropopause region in a high vertical resolution GCM. Part I: Potential vorticity and heat budget analysis, *Journal of the Atmospheric Sciences*, in press. 査読有
- ② Miyazaki, K., K. Sato, S. Watanabe, Y. Tomikawa, Y. Kawatani, and M. Takahashi, Transport and mixing in the extratropical tropopause region in a high vertical resolution GCM. Part II: Relative importance of large-scale and small-scale dynamics, *Journal of the Atmospheric Sciences*, in press. 査読有
- ③ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, Isentropic diffusion coefficient derived from chemical constituent data, *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, Vol. 5, 009-012, doi:10.2151/sola.2009-003. 査読有
- ④ Miyazaki, K., Performance of a local ensemble transform Kalman filter for the analysis of atmospheric circulation and distribution of long-lived tracers under idealized conditions, *Journal of Geophysical Research*, 114, D19304, doi:10.1029/2009JD011892. 査読有
- ⑤ Miyazaki, K., T. Machida, P.K. Patra, T. Iwasaki, Y. Sawa, H. Matsueda, and T. Nakazawa, Formation mechanisms of latitudinal CO₂ gradient in the upper troposphere over the subtropics and tropics, *Journal of Geophysical Research*, 114, D03306, doi:10.1029/2008JD010545. 査読有
- ⑥ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, The gradient genesis of stratospheric trace species in the subtropics and around the polar vortex, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65, 490-508, 2008. 査読有
- ⑦ Miyazaki, K., P. K. Patra, M. Takigawa, T. Iwasaki, and T. Nakazawa, Global-scale

transport of carbon dioxide in the troposphere, *Journal of Geophysical Research*, 113, D15301, doi:10.1029/2007JD009557. 査読有

- ⑧ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, On the analysis of mean vertical velocities around the Antarctic polar vortex, *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65, 3989-4003, 2008. 査読有

[学会発表] (計 15 件)

- ① Miyazaki, K., S. Watanabe, Y. Kawatani, Y. Tomikawa, M. Takahashi, and K. Sat, Transport and mixing in the extratropical tropopause region in a high vertical resolution GCM, IGAC-SPARC Joint Workshop, Kyoto, Japan, October 25, 2009
- ② Miyazaki, K., S. Watanabe, Y. Kawatani, Y. Tomikawa, M. Takahashi, and K. Sat, Transport and mixing in the extratropical tropopause region in a high vertical resolution GCM, The Extra-tropical UTLS: observations, concepts and future directions, Boulder, USA, 21 October, 2009
- ③ Iwasaki, T., H. Hamada, and K. Miyazaki, Comparisons of Brewer Dobson Circulations Diagnosed from Reanalyses, The 5TH WMO Symposium on Data Assimilation, Melbourne, Australia, 5 October, 2009
- ④ Miyazaki, K., Performance of a local ensemble transform Kalman filter data assimilation system for the analysis of the atmospheric circulation and the distribution of long-lived tracers, The 5TH WMO Symposium on Data Assimilation, Melbourne, Australia, 8 October, 2009
- ⑤ Miyazaki, K., Performance of local ensemble transform Kalman filter data assimilation system on analysis of long-lived tracer distributions in the troposphere and stratosphere, MOCA-09: IAMAS - IAPSO - IACS 2009 Joint Assembly, Montreal, Canada, 22 July, 2009
- ⑥ Miyazaki, K., and K. Sudo, Development of a chemical data assimilation system using a local ensemble transformed Kalman filter: A perfect model experiment, WWRP/THORPEX WORKSHOP on 4D-VAR and ENSEMBLE KALMAN FILTER INTER-COMPARISONS, Buenos Aires, Argentina, 11 November 2008.
- ⑦ Miyazaki, K., S. Watanabe, Y. Tomikawa, Y. Kawatani, M. Takahashi, K. Sato, Analysis of extratropical UTLS structure using a high vertical resolution GCM, SPARC 4th

変動領域・ポストドクトラル研究員
研究者番号：30435838

- General Assembly, Bologna, Italy, 2 September 2008.
- ⑧ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, Analysis of mean downward velocity around the Antarctic polar vortex, SPARC 4th General Assembly, Bologna, Italy, 2 September 2008.
 - ⑨ Miyazaki, K., and K. Sudo, Development of a chemistry-climate coupling data assimilation system using a local ensemble transformed Kalman filter, Quadrennial Ozone Symposium 2008, Tromso, Norway, 2 July 2008.
 - ⑩ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, Global transport and life cycle of ozone in the stratosphere, SMILES International Workshop 2008, Kyoto, Japan, 19 March 2008.
 - ⑪ Iwasaki, T., H. Hamada, and K. Miyazaki, Comparisons of Brewer-Dobson Circulations, Third WCRP International Conference on Reanalysis, Tokyo, Japan, 31 January 2008.
 - ⑫ Miyazaki, K., and K. Sudo, Development of a chemical data assimilation system using a local ensemble transformed Kalman filter, Third WCRP International Conference on Reanalysis, Tokyo, Japan, 31 January 2008.
 - ⑬ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, The gradient genesis of the stratospheric trace species in the subtropics and around the polar vortex, AMS 14th Conference on Middle Atmosphere, Portland, Oregon, USA, 21 August 2007.
 - ⑭ Miyazaki, K., and Patra, K. Prabir, M. Takigawa, and T. Nakazawa, Transport analysis of tropospheric carbon dioxide, European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, Austria, 19 April 2007.
 - ⑮ Miyazaki, K., and T. Iwasaki, The gradient genesis of the stratospheric trace species in the subtropics and around the polar vortex, European Geosciences Union General Assembly 2007, Vienna, Austria, 19 April 2007.

[その他]

ホームページ等

<http://www.jamstec.go.jp/res/ress/kmiyazaki/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮崎 和幸 (MIYAZAKI KAZUYUKI)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境